

473.43213X00

THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicants: SUMIYA, et al.

Application No. 10/684,413

Filed: October 15, 2003

For: A DEPTH OF INTERACTION DETECTOR WITH UNIFORM
PULSE-HEIGHT

Examiner: TBD

Group: TBD

CLAIM FOR PRIORITY

Mail Stop Patent Application
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

January 12, 2004

Sir:

Further to the paper entitled Claim For Priority filed in the above-identified application on October 15, 2003, and pursuant to the provisions of 35 USC §119 and 37 CFR § 1.55, Applicants hereby claim the right of priority based on Japanese Patent Application No. 2002-300125, filed in Japan on October 15, 2002.

A certified copy of the said Japanese Patent Application is attached.

Respectfully submitted,

ANTONELLI, TERRY, STOUT & KRAUS, LLP

by Ralph Webb
Ralph Webb Reg No. 33,047

William I. Solomon
Registration No. 28,565

1300 North Seventeenth Street
Suite 1800
Arlington, VA 22209
Tel.: 703-312-6600
Fax: 703-312-6666
WIS/sjg

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 2 年 1 0 月 1 5 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 2 - 3 0 0 1 2 5
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 2 - 3 0 0 1 2 5]

出 願 人
Applicant(s): 日立化成工業株式会社
 独立行政法人放射線医学総合研究所
 浜松ホトニクス株式会社

2 0 0 3 年 1 0 月 1 6 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 Y1J0569

【提出日】 平成14年10月15日

【あて先】 特許庁長官殿

【発明者】

【住所又は居所】 茨城県つくば市和台48 日立化成工業株式会社 総合
研究所内

【氏名】 住谷 圭二

【発明者】

【住所又は居所】 茨城県ひたちなか市大字足崎字西原1380番地1 日
立化成工業株式会社 山崎事業所内

【氏名】 石橋 浩之

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県千葉市稲毛区穴川4-9-1 独立行政法人放射
線医学総合研究所内

【氏名】 村山 秀雄

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県千葉市稲毛区穴川4-9-1 独立行政法人放射
線医学総合研究所内

【氏名】 稲玉 直子

【発明者】

【住所又は居所】 静岡県浜北市平口5000 浜松ホトニクス株式会社
中央研究所内

【氏名】 山下 貴司

【発明者】

【住所又は居所】 静岡県浜北市平口5000 浜松ホトニクス株式会社
中央研究所内

【氏名】 大村 知秀

【特許出願人】

【持分】 001/003
【識別番号】 000004455
【氏名又は名称】 日立化成工業株式会社

【特許出願人】

【持分】 001/003
【識別番号】 301032942
【氏名又は名称】 独立行政法人放射線医学総合研究所

【特許出願人】

【持分】 001/003
【識別番号】 000236436
【氏名又は名称】 浜松ホトニクス株式会社

【代理人】

【識別番号】 100059959
【弁理士】
【氏名又は名称】 中村 稔

【選任した代理人】

【識別番号】 100067013
【弁理士】
【氏名又は名称】 大塚 文昭

【選任した代理人】

【識別番号】 100082005
【弁理士】
【氏名又は名称】 熊倉 禎男

【選任した代理人】

【識別番号】 100065189
【弁理士】
【氏名又は名称】 宍戸 嘉一

【選任した代理人】

【識別番号】 100074228

【弁理士】

【氏名又は名称】 今城 俊夫

【選任した代理人】

【識別番号】 100084009

【弁理士】

【氏名又は名称】 小川 信夫

【選任した代理人】

【識別番号】 100082821

【弁理士】

【氏名又は名称】 村社 厚夫

【選任した代理人】

【識別番号】 100086771

【弁理士】

【氏名又は名称】 西島 孝喜

【選任した代理人】

【識別番号】 100084663

【弁理士】

【氏名又は名称】 箱田 篤

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 008604

【納付金額】 14,000円

【その他】 国以外のすべての者の持分の割合 1 / 3

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 パルス波高整列放射線位置検出器

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 2 個以上のシンチレータ・セルを平面的に接合し、これを 2 段以上層状に重ねた多層シンチレータと、この多層シンチレータの各シンチレータ・セルの底面に接続された受光素子を含むパルス波高整列放射線位置検出器において、放射線を吸収し光を発したシンチレータ・セルの位置を弁別する手段、及び各シンチレータ・セルが発した光の前記受光素子による受光量を均一化する手段を設けたことを特徴とするパルス波高整列放射線位置検出器。

【請求項 2】 多層シンチレータが、縦方向に 2 ～ 3 個、横方向に 2 ～ 3 個のシンチレータ・セルを平面的に接合し、それを 3 ～ 5 段層状に重ねたものである請求項 1 記載のパルス波高整列放射線位置検出器。

【請求項 3】 多層シンチレータが、縦方向に 2 個、横方向に 2 個のシンチレータ・セルを平面的に接合し、それを 4 段層状に重ねたものである請求項 1 記載のパルス波高整列放射線位置検出器。

【請求項 4】 放射線を吸収し光を発したシンチレータ・セルの位置を弁別する手段が、隣接するシンチレータ層の発光の波形を弁別する手段である請求項 1 ～ 3 のいずれか 1 項記載のパルス波高整列放射線位置検出器。

【請求項 5】 隣接するシンチレータ層の発光の波形を弁別する手段が、発光の減衰時定数の差を利用するものである請求項 4 記載のパルス波高整列放射線位置検出器。

【請求項 6】 減衰時定数の差が 5 n s 以上である請求項 5 記載のパルス波高整列放射線位置検出器。

【請求項 7】 シンチレータが、セリウムをドープした Gd_2SiO_5 単結晶である請求項 6 記載のパルス波高整列放射線位置検出器。

【請求項 8】 各シンチレータ・セルが発した光の受光素子による受光量を均一化する手段が、最上層のシンチレータ層に隣接するシンチレータ層のシンチレータ・セルの表面を粗面とすること、他のシンチレータ層のシンチレータ・セルの表面を鏡面とすること、最上層のシンチレータ層及びこれに隣接するシンチレー

タ層を除く他のシンチレータ層のシンチレータ・セル間に光反射材を設置すること、及びいずれのシンチレータ・セルの表面にも隣接していないシンチレータ・セル外表面に光反射材を設置することである請求項 1～7 のいずれか 1 項記載のパルス波高整列放射線位置検出器。

【請求項 9】 各シンチレータ層間及び受光素子とこれに隣接するシンチレータ層との間に、シンチレータ・セルが発した光に対して透明な光透過材が満たされている請求項 1～8 のいずれか 1 項記載のパルス波高整列放射線位置検出器。

【請求項 10】 縦方向に 2 個、横方向に 2 個のシンチレータ・セルを平面的に接合し、これを 4 段層状に重ねた多層シンチレータと、この多層シンチレータの各シンチレータ・セルの底面に接続された受光素子を含むパルス波高整列放射線位置検出器において、シンチレータがセリウムをドープした Gd_2SiO_5 単結晶であり、受光素子に隣接する第 1 シンチレータ層と第 3 シンチレータ層のセリウムドープ量が第 2 シンチレータ層と最上層の第 4 シンチレータ層のセリウムドープ量より多く、その減衰時定数の差が 10 ns 以上であることを特徴とする請求項 1～9 のいずれか 1 項記載のパルス波高整列放射線位置検出器。

【請求項 11】 第 1、第 2 及び第 4 シンチレータ層のシンチレータ・セルの表面を鏡面とし、第 3 シンチレータ層のシンチレータ・セルの表面を粗面とし、第 1 及び第 2 シンチレータ層のシンチレータ・セル間及びシンチレータ・セルの外表面に光反射材を設置し、各シンチレータ層間及び受光素子と第 1 シンチレータ層との間に、シリコンオイルを満たし、第 3 及び第 4 シンチレータ層のシンチレータ・セル間に空気を満たし、第 1 及び第 3 シンチレータ層のシンチレータ・セルが 1.5 モル%のセリウムをドープした Gd_2SiO_5 単結晶であり、第 2 及び第 4 シンチレータ層のシンチレータ・セルが 0.5 モル%のセリウムをドープした Gd_2SiO_5 単結晶である請求項 10 記載のパルス波高整列放射線位置検出器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、シンチレーション放射線検出器において放射線の位置検出機能およ

び放射線吸収エネルギー選別機能を持たせた放射線位置検出器に関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

従来、シンチレーション放射線検出器において放射線の深さ位置検出機能および放射線吸収エネルギー選別機能を持たせた放射線位置検出器に関するものとして、放射線の3次元位置検出器があった（例えば、特許文献1参照）。しかしこの検出器は、各シンチレータ・セルごとに吸収した放射線エネルギーの設定条件が異なっており、個別にその選定を行う必要があるために、エネルギー選別を同一選別条件に基づく回路もしくは同一信号処理回路で行う構成をとることはできない。これは、シンチレータ・セルの積層により得られる多層シンチレータ・ブロックの信号処理回路を複雑にするだけでなく、シンチレータ・セルごとにエネルギー分解能が異なるため、画像の均一性に問題があった。すなわち、シンチレータ層の積み重ねによる出力信号和の減少が受光素子から遠いシンチレータ・セルで起こり、したがって、装置全体としての位置およびエネルギー分解能特性を損なう。

【0 0 0 3】

図7は、従来型放射線位置検出器の例であり、図8は、従来型放射線位置検出器（1）の受光素子で受ける光の総量に関する各シンチレータ・セルごとの分布で、単一ガンマ線に対して波高が大きく異なる（例えば、特許文献2）。このため、検出器信号処理の際にダイナミックレンジの広い増幅器およびデジタル処理が必要となり、フロントエンド処理回路が設計しにくかった。

各シンチレータ・セルに依存せず和信号が同一の波高値を得るには、図9の例のように、受光素子に近いセルを囲む光反射材の一部を光吸収材に置き換えるなどの光学的減衰法が利用されていた（例えば、特許文献3参照）。しかし、この方法では受光素子の利用できる光量が減少するために、エネルギー分解能、位置分解能、時間分解能がすべて劣化する点が問題であった。

【0 0 0 4】

【特許文献1】

特開平1-229995号公報

【特許文献 2】

特開平 1 1 - 1 4 2 5 2 3 号公報

【特許文献 3】

IEEE Nuclear Science Vol.45(3) p.1152-1157 (1998)

【0 0 0 5】**【発明が解決しようとする課題】**

本発明の目的は、細長い形状のシンチレータの端で受光する放射線検出器において、受光量が発光位置と受光素子の距離に依存するために生じる、エネルギー情報および位置情報の不均一性が改善された放射線位置検出器を提供することである。

本発明の他の目的は、シンチレータ・セル間での光の収集効率の差を小さくし、受光素子と光学接合されたシンチレータ層より上部のシンチレータ層で放射線が吸収され発光した場合でも、受光素子における光出力が大きい放射線位置検出器を提供することである。

本発明のさらに他の目的は、エネルギー分解能に優れ、受光素子と光学接合されたシンチレータ層より上部のシンチレータ層で放射線が吸収され発光した場合でも、エネルギー・位置に関して下部と同じ精度の検出情報が正確に得られ、円環の周に沿った稠密なシンチレータ・セルの配置を可能とする、3次元位置検出機能およびセルに依存しないエネルギー情報取得機能を持たせた放射線位置検出器を提供することである。

本発明のさらに他の目的は、従来のような光学的減衰法と異なり、エネルギー分解能、位置分解能、時間分解能を劣化させる心配がない放射線位置検出器を提供することである。

【0 0 0 6】**【課題を解決するための手段】**

本発明は、以下のパルス波高整列放射線位置検出器を提供するものである。

1. 2 個以上のシンチレータ・セルを平面的に接合し、これを 2 段以上層状に重ねた多層シンチレータと、この多層シンチレータの各シンチレータ・セルの底面に接続された受光素子を含むパルス波高整列放射線位置検出器において、放射線

を吸収し光を発したシンチレータ・セルの位置を弁別する手段、及び各シンチレータ・セルが発した光の前記受光素子による受光量を均一化する手段を設けたことを特徴とするパルス波高整列放射線位置検出器。

2. 多層シンチレータが、縦方向に2～3個、横方向に2～3個のシンチレータ・セルを平面的に接合し、それを3～5段層状に重ねたものである上記1記載のパルス波高整列放射線位置検出器。

3. 多層シンチレータが、縦方向に2個、横方向に2個のシンチレータ・セルを平面的に接合し、それを4段層状に重ねたものである上記1記載のパルス波高整列放射線位置検出器。

4. 放射線を吸収し光を発したシンチレータ・セルの位置を弁別する手段が、隣接するシンチレータ層の発光の波形を弁別する手段である上記1～3のいずれか1項記載のパルス波高整列放射線位置検出器。

5. 隣接するシンチレータ層の発光の波形を弁別する手段が、発光の減衰時定数の差を利用するものである上記4記載のパルス波高整列放射線位置検出器。

6. 減衰時定数の差が5 ns以上、好ましくは10 ns以上、さらに好ましくは20 ns以上である上記5記載のパルス波高整列放射線位置検出器。

7. シンチレータが、セリウムをドープした Gd_2SiO_5 単結晶である上記6記載のパルス波高整列放射線位置検出器。

8. 各シンチレータ・セルが発した光の受光素子による受光量を均一化する手段が、最上層のシンチレータ層に隣接するシンチレータ層のシンチレータ・セルの表面を粗面とすること、他のシンチレータ層のシンチレータ・セルの表面を鏡面とすること、最上層のシンチレータ層及びこれに隣接するシンチレータ層を除く他のシンチレータ層のシンチレータ・セル間に光反射材を設置すること、及びいずれのシンチレータ・セルの表面にも隣接していないシンチレータ・セル外表面に光反射材を設置することである上記1～7のいずれか1項記載のパルス波高整列放射線位置検出器。

9. 各シンチレータ層間及び受光素子とこれに隣接するシンチレータ層との間に、シンチレータ・セルが発した光に対して透明な光透過材が満たされている上記1～8のいずれか1項記載のパルス波高整列放射線位置検出器。

10. 縦方向に2個、横方向に2個のシンチレータ・セルを平面的に接合し、これを4段層状に重ねた多層シンチレータと、この多層シンチレータの各シンチレータ・セルの底面に接続された受光素子を含むパルス波高整列放射線位置検出器において、シンチレータがセリウムをドーピングした Gd_2SiO_5 単結晶であり、受光素子に隣接する第1シンチレータ層と第3シンチレータ層のセリウムドーピング量が第2シンチレータ層と最上層の第4シンチレータ層のセリウムドーピング量より多く、その減衰時定数の差が10 ns以上であることを特徴とする上記1～9のいずれか1項記載のパルス波高整列放射線位置検出器。

11. 第1、第2及び第4シンチレータ層のシンチレータ・セルの表面を鏡面とし、第3シンチレータ層のシンチレータ・セルの表面を粗面とし、第1及び第2シンチレータ層のシンチレータ・セル間及びシンチレータ・セルの外表面に光反射材を設置し、各シンチレータ層間及び受光素子と第1シンチレータ層との間に、シリコンオイルを満たし、第3及び第4シンチレータ層のシンチレータ・セル間に空気を満たし、第1及び第3シンチレータ層のシンチレータ・セルが1.5モル%のセリウムをドーピングした Gd_2SiO_5 単結晶であり、第2及び第4シンチレータ層のシンチレータ・セルが0.5モル%のセリウムをドーピングした Gd_2SiO_5 単結晶である上記10記載のパルス波高整列放射線位置検出器。

を提供するものである。

【0007】

【発明の実施の形態】

本発明は、2個以上、好ましくは4個以上のシンチレータ・セルを平面的に接合し、それを2段以上、好ましくは3～5段、最も好ましくは4段層状に重ねて多層シンチレータを形成し、2個以上の受光素子または位置分解が可能な受光素子を光学結合し、各シンチレータ・セル間は、空気、光反射材、光透過材、前記シンチレータと同じ材料から選ばれた少なくとも1種類のもので満たし、シンチレータ・セルごとの光学表面条件（鏡面又は粗面）と光反射材および光学透過材の組み合わせを最適化することにより、受光素子から得る出力信号で、放射線を検出したシンチレータ・セルの同定および放射線エネルギーの選別を行い、エネルギー分解能、位置分解能、時間分解能に優れた、パルス波高整列放射線位置検

出器を提供するものである。

【0008】

本発明のパルス波高整列放射線位置検出器において、放射線を吸収し光を発したシンチレータ・セルの位置を弁別する手段としては、隣接するシンチレータ層の発光の波形を弁別する手段が挙げられる。隣接するシンチレータ層の発光の波形を弁別する手段の具体例としては、発光の減衰時定数の差を利用するものが挙げられる。減衰時定数の差は好ましくは5 ns以上、さらに好ましくは10 ns以上、最も好ましくは15 ns以上である。

【0009】

本発明の放射線位置検出器に使用するシンチレータ材料としては、放射線を吸収して発光するものであれば特に制限されないが、セリウムをドープしたGSO (Ce: Gd₂SiO₅)、セリウムをドープしたLSO (Ce: Lu₂SiO₅)、BGO (Bi₄Ge₃O₁₂)等が挙げられる。しかし、本発明に用いるシンチレータ材料は、蛍光出力が高いほど位置弁別効果が大きく、Bi₄Ge₃O₁₂より50%以上高い出力のシンチレータであることが望ましく、Ce:Gd₂SiO₅を用いることがさらに望ましい。Ce:Gd₂SiO₅のセリウムのドープ量は好ましくは0.1~5.0モル%、さらに好ましくは0.5~1.5モル%程度である。Ce:Gd₂SiO₅のセリウムのドープ量を変えて蛍光減衰時定数を変えることにより、隣接するシンチレータ層間の波形弁別を向上させ、位置弁別を良好にするためには、セリウムのドープ量の差を0.1~3.0モル%程度とし、減衰時定数の差が5 ns以上、好ましくは10 ns以上、さらに好ましくは20 ns以上とすることが適当である。

シンチレータ・セルはシンチレータ材料(単結晶)を直方体に切断したものが好ましく、その大きさは、1.0~10 mm×1.0~10 mm×10~50 mm程度が適当である。

【0010】

各シンチレータ・セルが発した光の受光素子による受光量を均一化する手段としては、最上層のシンチレータ層に隣接するシンチレータ層のシンチレータ・セルの表面を粗面とすること、他のシンチレータ層のシンチレータ・セルの表面を鏡面とすること、最上層のシンチレータ層及びこれに隣接するシンチレータ層を

除く他のシンチレータ層のシンチレータ・セル間に光反射材を設置すること、及びいずれのシンチレータ・セルの表面にも隣接していないシンチレータ・セル外表面に光反射材を設置することが挙げられる。

【0011】

単結晶の表面を鏡面とするには、機械研磨、化学研磨等の方法が使用できる。

単結晶の表面を粗面とするには、切断、粗研磨等の方法が使用できる。粗面の程度は、最大高さ $R_{max} = 346 \text{ nm}$ (へき開面) $\sim 376 \text{ nm}$ (へき開面) が適当である。

また、光反射材としては、金属箔 (例えば、アルミニウム箔等)、ポリマー膜 (例えば、ポリテトラフルオロエチレン等)、無機粉末等が挙げられる。これらの光反射材の厚さは通常 $10 \sim 500 \mu\text{m}$ であり、好ましくは $30 \sim 200 \mu\text{m}$ である。

【0012】

本発明の放射線位置検出器においては、受光素子で受ける光の総量を均一化するために、各シンチレータ層間及び受光素子とこれに隣接するシンチレータ層との間に、シンチレータ・セルが発した光に対して透明な光透過材を満たしておくことが望ましい。透明な光透過材としてはシリコンオイル、空気、透明接着剤等が挙げられるが、シリコンオイル (シリコンオイルの特性をもう少し特定できればして下さい。) が好ましい。

【0013】

以上のとおり、本発明の放射線位置検出器においては、シンチレータ・ユニット内の各シンチレータ・セルは、不純物の含量の違いもしくは組成の違いによる蛍光減衰時定数の選択、および結晶表面処理に関して粗面もしくは鏡面にするかの選択が可能であり、さらにセル間の境界層は光学的不連続層を形成し、層間に光反射材を挿入するもしくは光に対して透明な透過材 (光学接合材) を挿入するかの選択が可能である。特開平 11-142523 号公報に詳細に説明されているように、あるシンチレータ・セル内で発生した光は、この境界層を介して隣接するシンチレータ・セルにある割合で分配される。この分配された光を受け取ったシンチレータ・セルでも同様にこれと隣接するシンチレータ・セルにある割

合で分配され、以下、この過程がシンチレータ・ユニット内の各シンチレータ・セル間で行われ、最終的に、シンチレータ・ユニットの一端面に結合されたそれぞれの受光素子に到達する。

【0014】

それぞれの受光素子で受け取る光量は、上記で示したシンチレータ・ユニット内の各シンチレータ・セル間の光の分配率に依存し、これを工夫することによって、それぞれの受光素子で受け取る光量の組み合わせにより、シンチレータ・ユニット内のどのシンチレータ・セルが光を発生したかを知ることが可能となり、シンチレータ・ユニットの深さ方向における放射線の検出位置を計測することができる。これと同時に、シンチレータ・セルの光学表面と光反射材および透過材の組み合わせを最適化することにより、位置弁別を可能にしつつ、どのセルで発光しても受光素子全体で受け取る光の総量を同一にするパルス波高整列放射線位置検出器を形成できる。

また、位置弁別を向上させるためには、高感度の受光素子、例えば、30%程度の感度を有する受光素子を使用したり、光収集効率の高い受光素子を使用することが望ましい。

【0015】

【実施例】

以下、図面により本発明を詳しく説明する。

図1は、本発明のパルス波高整列放射線位置検出器の1実施例を説明するための図である。本発明のパルス波高整列放射線位置検出器は、図1に示したように、シンチレータ・セルを光学的に積層して4層シンチレータとし、シンチレータ・ユニットを形成する。なお、このシンチレータ・ユニットの端面のそれぞれの多層シンチレータに対し、各1つの受光素子が結合され、それ以外の外側部分には光反射材（例えば、ポリテトラフルオロエチレン）が乾燥膜厚例えば、100 μm で塗布されている。この構成により、各シンチレータ・セル内で発生した光は、4つの受光素子に分配されて到達することとなる。この光の分配率は、各シンチレータ・セル毎に光の透過度や表面条件が異なることで両端の受光素子までの光路長が異なること、及び、各シンチレータ・セル間の境界層は光学的不連続

層が形成されていること、各シンチレータ・セルの組成もしくは不純物含量に応じて蛍光現象が異なることにより、各シンチレータ・セル毎に異なる。このことにより、放射線を検出したシンチレータ・セルが同定される、すなわち深さ情報を知ることができる。

【0016】

図2の位置弁別分布は、蛍光減衰時定数の同じシンチレータ・セルを組み合わせてシンチレータ・ユニットを形成した場合の光の分配率を2次元表示したもので、個々の丸の区域が各シンチレータ・セルからの発光に一对一の対応をしているためにシンチレータ・セルの3次元的な位置の弁別を実現できる。すべてのシンチレータ・セルが同じ鏡面の光学表面の場合は、丸の区域が重なり位置弁別できないが、すべてのシンチレータ・セルが同じ粗面の光学表面の場合は、丸の区域が離れて位置弁別可能となる。しかし、すべて粗面では受光素子で受ける光の総量が受光素子から遠いセルほど減少するため、各層のシンチレータ・セルの光学表面を変化させ、同時にセル間の光反射材および透過材の組み合わせを最適化することによって、図3のようにすべてのシンチレータ・セルの発光に対して受光素子で受ける光の総量が同じとなるように調節する。

【0017】

図4は、縦2.9mm×横2.9mm×高さ7.5mmの直方体の、セリウムをドープしたGSO (Ce: Gd₂SiO₅) (以下「GSO」と呼ぶ) 結晶2種を、交互に4つ縦方向に結合した4つの4層シンチレータを行列(2行×2列)配列し光学的に結合してシンチレータ・ユニットを形成した場合の実施例である。すなわち、蛍光減衰時定数の異なる2種類のGSOシンチレータ・セル(Ce濃度:0.5%mol(結晶1-2と1-4)と1.5%mol(結晶1-1と1-3))を交互に重ねて4層シンチレータを形成し、これを2行×2列配列してシンチレータ・ユニットを形成している。Ce濃度が0.5%molの蛍光減衰時定数は60nsであり、Ce濃度が1.5%molの蛍光減衰時定数は35nsである。また、シンチレータ・ユニットの下部の端面には複数の受光素子(位置感応型光電子増倍管)が結合されている。この例の場合は、各シンチレータ・セル(1-1~4-4の合計16個)で発生した光は4つの受光素子に分配される。なお、シンチレータ層

1 とシンチレータ層 2 のシンチレータ・セル間には光反射材を配置したため、これら 2 層のシンチレータ・セルの大きさは、シンチレータ層 3 及び 4 のシンチレータ・セルよりやや小さい縦 2.9 mm×横 2.9 mm×高さ 7.5 mm とした。

【0018】

このシンチレータ・ユニットに対する光の分配率を 2 次元分布で表したものが図 5 である。2 種類の蛍光減衰時間 (60 ns と 35 ns) ごとに光の分配率を 2 次元表示したもので、個々の丸の区域が各シンチレータ・セルからの発光に一对一の対応をしており、単一の蛍光減衰時定数のシンチレータ・セルを組み合わせた場合に比べて丸の領域の重なりを回避しやすく、位置弁別を容易に実現できる。波形 1 は、結晶 1-1、1-3、2-1、2-3、3-1、3-3、4-1 及び 4-3 の発光に対応し、波形 2 は、結晶 1-2、1-4、2-2、2-4、3-2、3-4、4-2 及び 4-4 の発光に対応する。

【0019】

また、すべてのシンチレータ・セル (GSO 単結晶) の表面を粗面にすると各シンチレータ・セルごとに受光素子で受け取る光の総量は大きく異なり、一方、すべてのシンチレータ・セル (GSO 単結晶) の表面を鏡面にすると光の分配率を示す 2 次元分布の丸の領域が重なる。

この実施例では、図 4 のようにシンチレータ層 1 (シンチレータ・セル 1-1、2-1、3-1 及び 4-1)、シンチレータ層 2 (シンチレータ・セル 1-3、2-3、3-3 及び 4-3)、シンチレータ層 4 (シンチレータ・セル 1-4、2-4、3-4 及び 4-4) を鏡面 (化学研磨したもの)、シンチレータ層 3 (シンチレータ・セル 1-3、2-3、3-3 及び 4-3) を粗面 (切断面のまま) とし、シンチレータ層 1 及び 2 の各シンチレータ・セル間及びシンチレータ・ユニットの全外表面に光反射材 (厚さ 100 μ m のポリテトラフルオロエチレン製) を設け、各シンチレータ層間及びシンチレータ層 1 と受光素子の間にシリコンオイルを満たし、シンチレータ層 3 及び 4 のシンチレータ・セル間には空気を満たした。このような構成を採用することにより、光の分配率を示す 2 次元分布の丸の領域が離れ、しかも受光素子で受け取る光の総量は、図 6 に示すよう

にすべてのシンチレータ・セルではほぼ同一になった。

【0020】

図6において縦軸は発光の相対的なカウント数を示す。この試験では、シンチレータユニットのシンチレータ層4の側から511 eVのセシウム137の放射線を照射した。このため、相対的なカウント数はシンチレータ層4が最も多く、シンチレータ層1が最も少なくなっている。横軸はパルス波高（受光素子で受け取る光の総量）を示す。右側のシャープなピークの位置が光の総量（総エネルギー量）を示す。シンチレータ層1～4のピーク位置がほぼ一致しており、シンチレータ層1～4のどのセルが発光しても受光素子が受け取る光のエネルギー量がほぼ等しいことを示している。

【0021】

【発明の効果】

本発明による放射線3次元位置検出器によって、受光素子と光学結合されたシンチレータ層より上部のシンチレータ層で放射線が吸収され発光した場合でも、検出情報が正確に得られ、3次元位置検出機能を持たせた放射線検出器を得ることができるだけでなく、放射線エネルギーが同じであれば位置によらない同一出力信号和を得る。従来法のように、光吸収材を用いる必要がないため、エネルギー分解能、位置分解能、時間分解能を劣化させる心配がない。本発明によるパルス波高整列放射線位置検出器を陽電子放出断層装置（PET）に導入すれば、放射線エネルギー情報を1つの波高分析回路のみで分析可能となる。

本発明の実施例では、シンチレータ材料としてCe: Gd₂SiO₅を用いる場合についてのみ示したが、本発明の袴型放射線位置検出器のシンチレータ材料はCe: Gd₂SiO₅に限定されるものではない。ただし、本発明に用いるシンチレータ材料は、蛍光出力が高いほど効果的で、Bi₄Ge₃O₁₂より50%以上高い出力のシンチレータであることが望ましく、Ce:Gd₂SiO₅を用いることがさらに望ましい。

また本発明の実施例では、シンチレータ材料として一種類もしくは二種類の蛍光減衰時間の異なるシンチレータを用いる場合のみを示したが、三種類以上の異なるシンチレータを組合せた場合も本発明に含まれる。異なる蛍光減衰時間のシンチレータ材料を用いることで、蛍光減衰時間の違いを波形弁別することが可能

となり、出力信号を波形弁別することによっても、本発明のパルス波高整列放射線位置検出器を得ることができる。

【0022】

以下に本発明の好ましい実施態様を示す。

1. 所定の形状を有する位置検出器であって、前記検出器から得られる複数の出力信号の比演算および和演算によって、位置検出情報を得ることと検出器に吸収された放射線エネルギーの選別情報を得ることが出来る、放射線位置検出器。
2. 2個以上のシンチレータ・セルを平面的に接合し、それを2段以上層状に重ねて多層シンチレータを形成し、各シンチレータ・セル間は、空気、光反射材、光透過材、前記シンチレータと同じ材料から選ばれた少なくとも1種類のものからなり、前記多層シンチレータの底面に2個以上の受光素子または1個以上の位置分解が可能な受光素子を結合し、前記受光素子から得られる出力信号で、放射線を検出したシンチレータ・セルの同定およびシンチレータ・セルで吸収された放射線エネルギーの選別を行うことを特徴とする放射線位置検出器。
3. 前記多層シンチレータは、同じ特性もしくは異なる蛍光減衰時定数をもつシンチレータを複数個用いたことを特徴とする上記2記載の放射線位置検出器。
4. 前記多層シンチレータは、表面光学条件の異なるシンチレータを複数個用いたことを特徴とする上記2記載の放射線位置検出器。
5. 前記多層シンチレータは、互いのシンチレータ・セル間に光反射材もしくは光学透過材または空気層の異なる層グループからなることを特徴とする上記2記載の放射線位置検出器。
6. 前記多層シンチレータは、前記層グループごとに、異なる光学表面をもつシンチレータを複数個用いたことを特徴とする上記2記載の放射線位置検出器。
7. 放射線を検出したシンチレータ・セルの同定は、受光素子の出力信号の大きさの比をとって行うことを特徴とする上記2～6のいずれか1項記載の放射線位置検出器。
8. シンチレータ・セルで検出した放射線エネルギーの選別は、受光素子の出力信号の加算による波高弁別で行うことを特徴とする上記2～6のいずれか1項記載の放射線位置検出器。

9. 放射線を検出したシンチレータ・セルの同定および吸収エネルギーの同定は、受光素子の出力信号の比をとって行うことと、既受光素子の受光素子の出力信号の加算による波高弁別の両方を行うことを特徴とする上記 2～6 のいずれか 1 項記載の放射線位置検出器。

10. 前記各シンチレータ・セルの形状が直方体からなることを特徴とする上記 2～9 のいずれか 1 項記載の放射線位置検出器。

11. 放射線を検出したシンチレータ・セルのエネルギー吸収値の同定は、シンチレータ・セルによらず同一条件で出力波高弁別を行えることを特徴とする上記 2～10 のいずれか 1 項記載の放射線位置検出器。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明のパルス波高整列放射線位置検出器の 1 実施例を説明するための図である。

【図 2】

パルス波高整列放射線位置検出器の 4 つの受光素子で受け取る光の分配率を表す二次元分布図である。

【図 3】

パルス波高整列放射線位置検出器の受光素子で受け取る光の総量に関する各シンチレータ・セルごとの分布図であり、単一ガンマ線に対して同一パルス波高（横軸）を形成する。

【図 4】

本発明の実施例を説明するためのパルス波高整列放射線位置検出器の構造例を示す図である。

【図 5】

本発明の実施例を説明するためのパルス波高整列放射線位置検出器の 4 つの受光素子で受け取る光の分配率を表す 2 次元分布図である。波形（1）はシンチレータ層 1 及び 3 の各 4 個のシンチレータ・セル、波形（2）はシンチレータ層 2 及び 4 の各 4 個のシンチレータ・セルが発した光を 4 つの受光素子が受光する際の光の分配率を表す 2 次元分布図である。

【図 6】

本発明の実施例を説明するためのパルス波高整列放射線位置検出器の受光素子で受け取る光の総量に関する各シンチレータ・セル（1-1～4-4）ごとの分布を示す図である。

【図 7】

従来型放射線位置検出器の構成例（1）を示す図である。

【図 8】

従来型放射線位置検出器（1）の受光素子で受ける光の総量に関する各シンチレータ・セルごとの分布を示す図である。

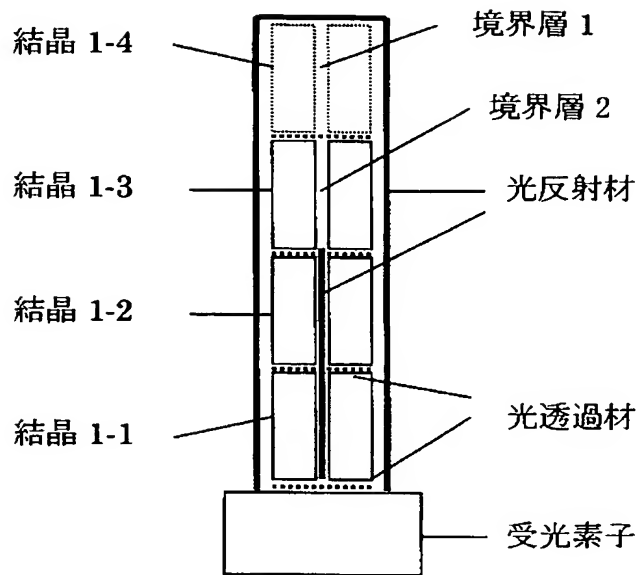
【図 9】

従来型パルス波高整列放射線位置検出器の構成例（2）を示す図である。

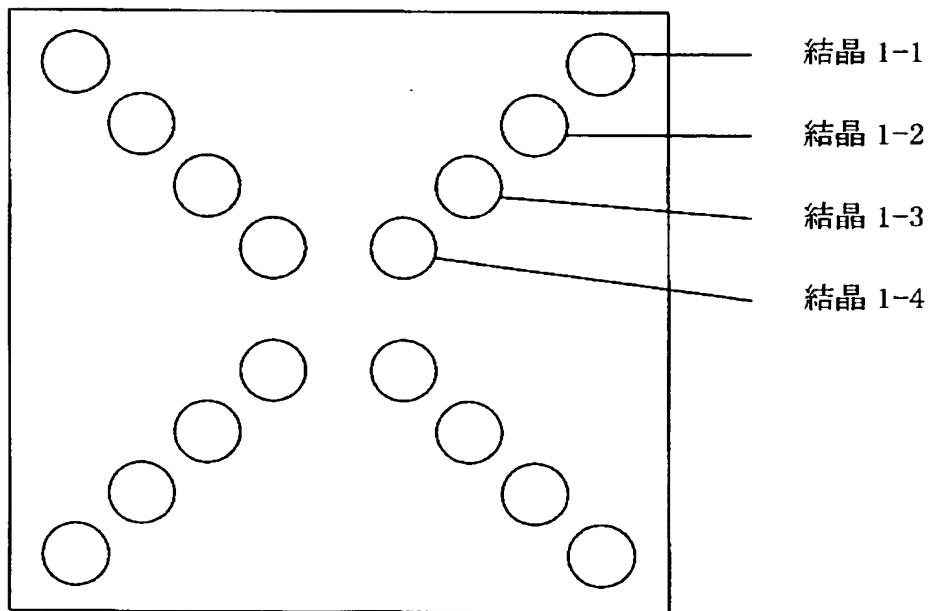
【書類名】

図面

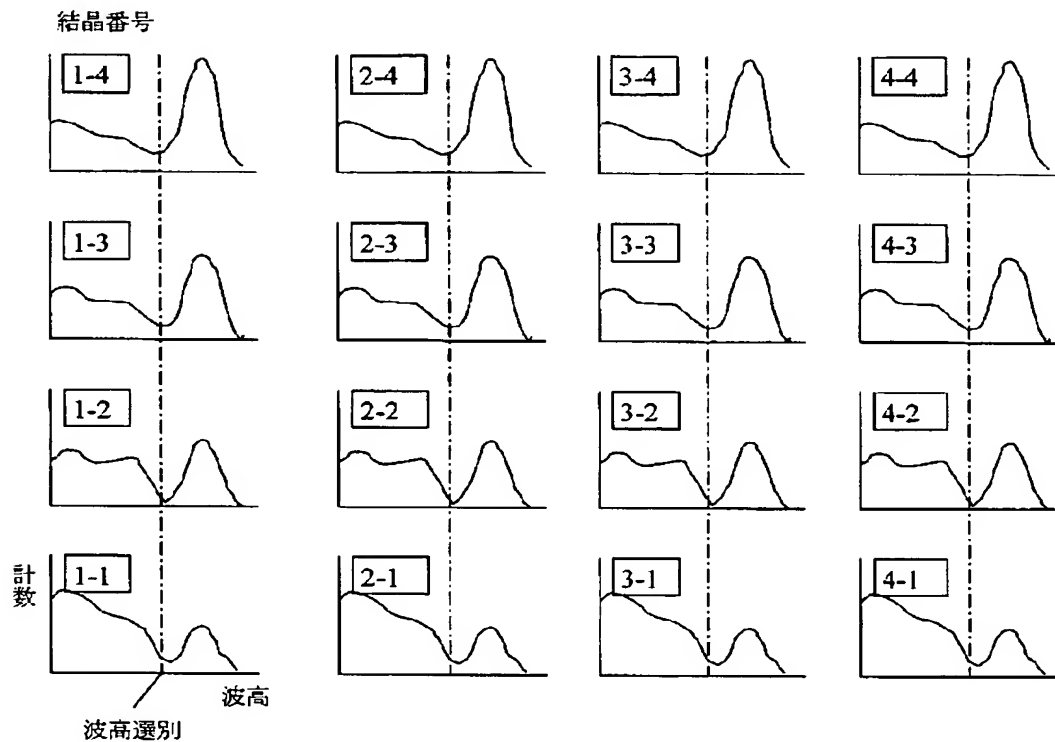
【図 1】



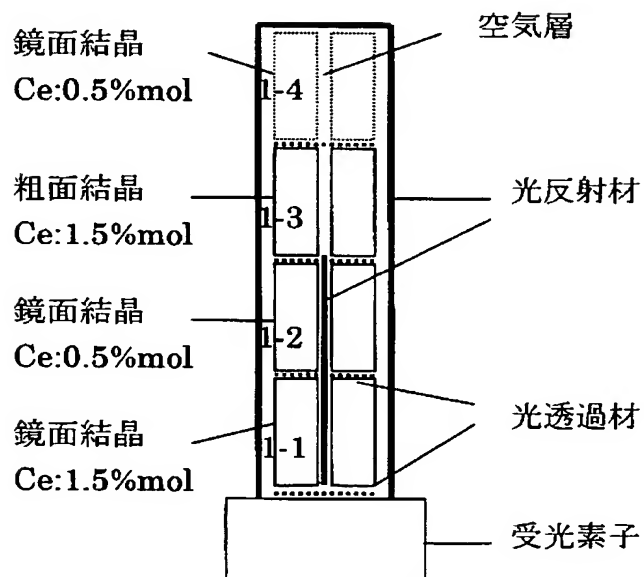
【図 2】



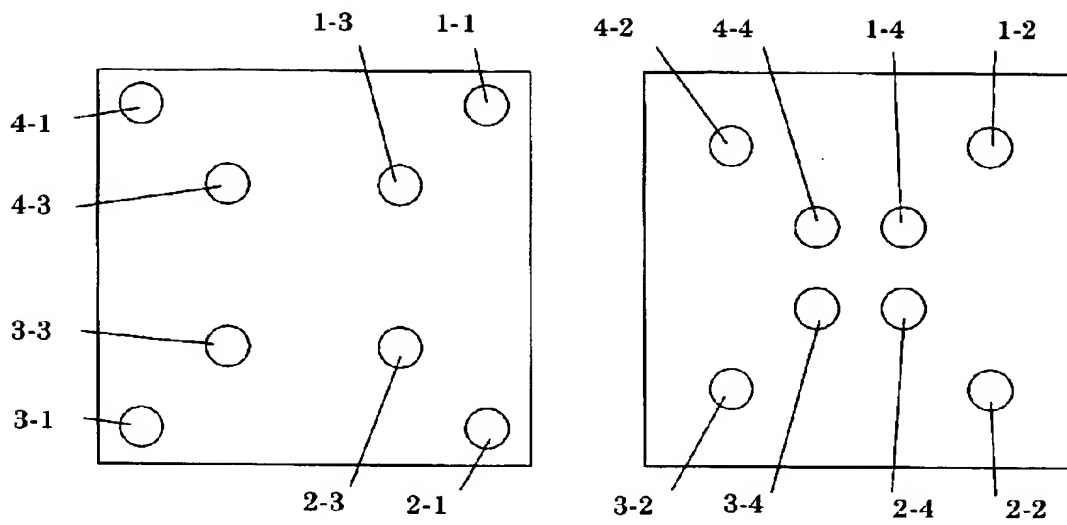
【図 3】



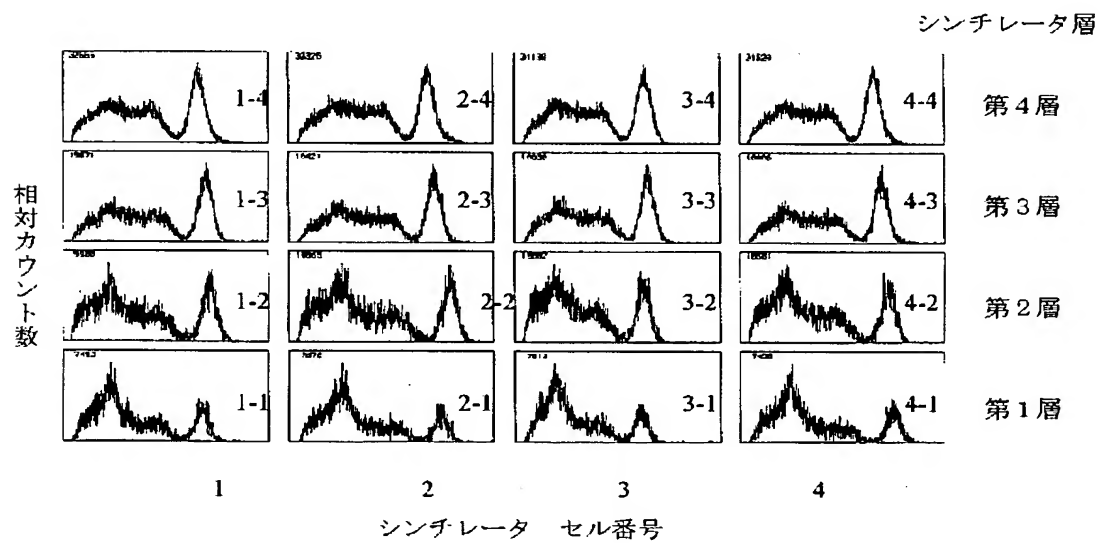
【図 4】



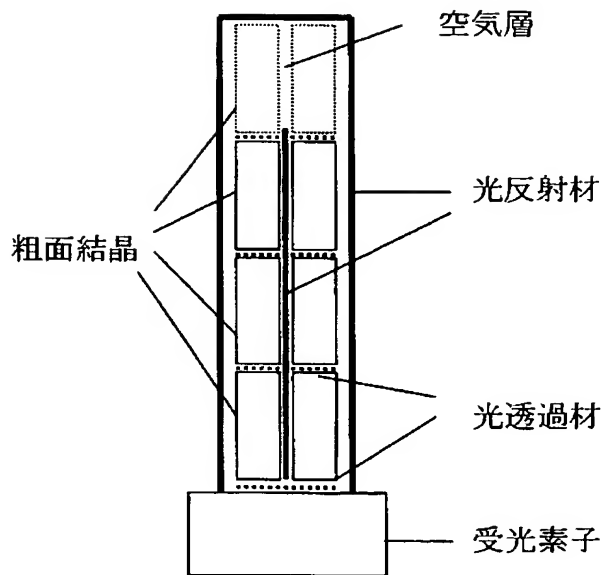
【図 5】



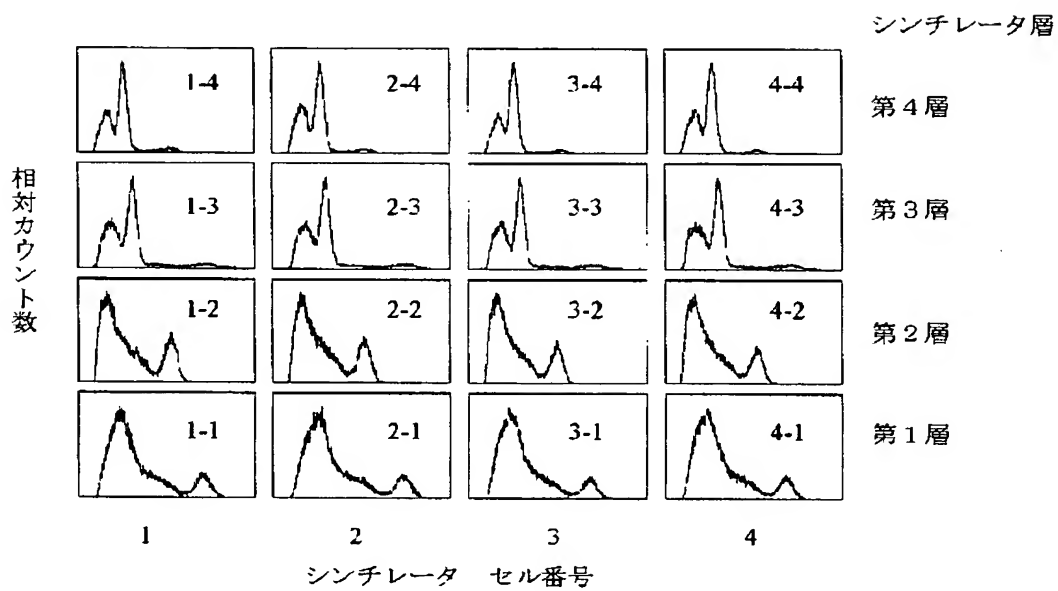
【図 6】



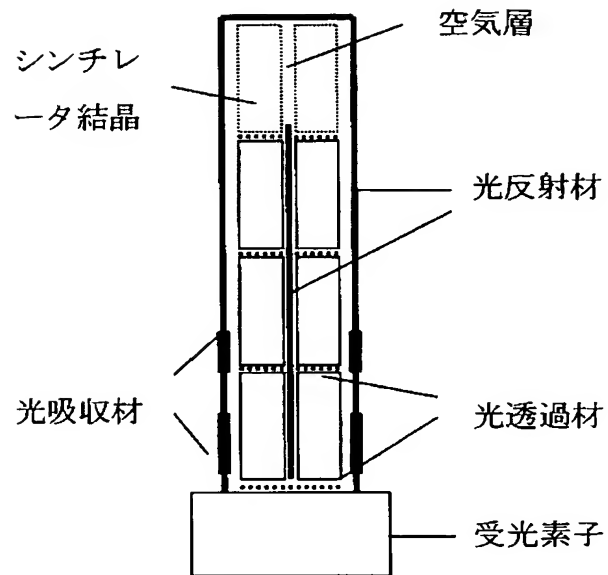
【図 7】



【図 8】



【図 9】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 細長い形状のシンチレータの端で受光する放射線検出器において、受光量が発光位置と受光素子の距離に依存するために生じる、エネルギー情報および位置情報の不均一性が改善された放射線位置検出器を提供すること。

【解決手段】 2 個以上のシンチレータ・セルを平面的に接合し、これを 2 段以上層状に重ねた多層シンチレータと、この多層シンチレータの各シンチレータ・セルの底面に接続された受光素子を含むパルス波高整列放射線位置検出器において、放射線を吸収し光を発したシンチレータ・セルの位置を弁別する手段、及び各シンチレータ・セルが発した光の前記受光素子による受光量を均一化する手段を設けたことを特徴とするパルス波高整列放射線位置検出器。

【選択図】 図 1

認定・付加情報

| | |
|---------|--------------------------|
| 特許出願の番号 | 特願 2 0 0 2 - 3 0 0 1 2 5 |
| 受付番号 | 5 0 2 0 1 5 4 6 3 3 2 |
| 書類名 | 特許願 |
| 担当官 | 井筒 セイ子 1 3 5 4 |
| 作成日 | 平成 1 4 年 1 0 月 2 1 日 |

< 認定情報・付加情報 >

【手数料の表示】

【納付金額】 7,000円

次頁無

特願 2 0 0 2 - 3 0 0 1 2 5

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 4 4 5 5]

1 . 変更年月日
[変更理由]

1 9 9 3 年 7 月 2 7 日

住所変更

住 所
氏 名

東京都新宿区西新宿 2 丁目 1 番 1 号
日立化成工業株式会社

特願 2 0 0 2 - 3 0 0 1 2 5

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[3 0 1 0 3 2 9 4 2]

1. 変更年月日 2 0 0 1 年 5 月 1 6 日
 [変更理由] 新規登録
 住 所 千葉県千葉市稲毛区穴川 4 - 9 - 1
 氏 名 独立行政法人放射線医学総合研究所

2. 変更年月日 2 0 0 2 年 5 月 3 0 日
 [変更理由] 住所変更
 住 所 千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目 9 番 1 号
 氏 名 独立行政法人放射線医学総合研究所

特願 2 0 0 2 - 3 0 0 1 2 5

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 2 3 6 4 3 6]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 1 0 日

[変更理由]

新規登録

住 所

静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1

氏 名

浜松ホトニクス株式会社